



Un modèle continu pour la simulation de réseau d'assainissement sous Matlab

H. Nakouri, G. Goncalves, D. Jolly, O. Blanpain

► To cite this version:

H. Nakouri, G. Goncalves, D. Jolly, O. Blanpain. Un modèle continu pour la simulation de réseau d'assainissement sous Matlab. 9ème édition de la conférence MANifestation des JEunes Chercheurs en Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication - MajecSTIC 2012 (2012), Nicolas Gouvry, Oct 2012, Villeneuve d'Ascq, France. hal-00780321

HAL Id: hal-00780321

<https://inria.hal.science/hal-00780321>

Submitted on 23 Jan 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Un modèle continu pour la simulation de réseau d'assainissement sous Matlab

Hind Nakouri¹, Gille Goncalves¹, Daniel Jolly¹ et Olivier Blanpain².

1 : Université d'Artois, laboratoire LGI2A, F 62400, Béthune-France.

2 : Université Lille Nord de France, F 59000 Lille- France.

Contact : hnakouri@yahoo.fr

Résumé

La plupart des gestionnaires de réseaux d'assainissement subissent le plus souvent le fonctionnement de leur réseau. Ils ont aujourd'hui beaucoup de difficultés à détecter les anomalies et a fortiori les contrôler. Notamment lors de fortes pluies, des rejets importants de pollutions au milieu naturel peuvent résulter de cette méconnaissance et des difficultés de gestion des différentes eaux de ruissellement. Il résulte de cette constatation qu'il convient de mieux gérer les stations de relèvement et les déversoirs d'orage, ce qui nécessite une meilleure connaissance des lois qui régissent les écoulements des eaux, l'origine des pollutions et leur importance en fonction des prévisions de précipitations. Dans tous les cas, il est important pour le gestionnaire de tels réseaux de disposer de méthodes pour prendre en compte ces diverses sources de perturbation et d'outils intégrant des modèles permettant la prévision du comportement du système d'assainissement. Il s'agit ici d'utiliser des approches hybrides (modèles mathématiques, outil de simulation) pour modéliser le comportement d'un réseau d'assainissement du point de vue de l'automaticien et permettre une gestion optimale de celui-ci c'est à dire qui minimise les rejets de polluants dans la nature dans le cas de forts orages tout en gardant le même niveau de protection contre les inondations.

Abstract

Most of the managers of sewer systems undergo mostly the performance of their network. They have many difficulties to detect anomalies and even to control them. Especially during heavy rains, important rejections of pollutions in the environment and many difficulties of the management of different runoff can result from this misunderstanding. Thus, it is very interesting to better manage the pumping stations and the sewer overflows, what requires a better knowledge of the laws governing the flows of waters causing pollution and their importance based on the forecasts of precipitation. In all cases, it is important to the manager of such networks to have methods to take into account these various sources of disturbance and tools integrating models for the prediction of the behavior of the sanitation system. It is here the use of hybrid approaches (mathematical models, simulation tools) to model the behavior of a sewer system from the point of view of the automation specialist and allow an optimal management of this one that is to say that minimizes the release of pollutants into the nature in the case of strong thunderstorms while maintaining the same level of protection against floods.

Key words: sewerage systems, modeling, control structures, dynamic management, and simulation.

Mots clefs : réseau d'assainissement, modélisation, commande, gestion dynamique, simulation.

*Ce projet est financé par L'entreprise Ixsane.

1. Introduction

En Europe et notamment en France, les réseaux d'assainissement existent, dans leur forme moderne, depuis le 19^{ème} siècle. Mais avec le développement de l'urbanisation et l'augmentation des surfaces imperméables, la plupart des gestionnaires de ces réseaux ont beaucoup de difficultés à détecter les anomalies et à les contrôler. Notamment lors de fortes pluies, des rejets importants de pollutions au milieu naturel peuvent résulter de cette méconnaissance. Face à des contraintes écologiques, environnementalistes mais aussi réglementaires, et plus particulièrement la directive européenne du 21 Mai 1991 et la loi sur l'eau du trois Janvier 1992 renforcée par l'arrêté du 22 Décembre 1994, la lutte contre la pollution constitue un enjeu très important. C'est dans ce contexte qu'est apparue l'idée de doter les réseaux d'un fonctionnement dynamique capable de compenser ces manques de gestion des réseaux d'assainissement. Ce fonctionnement dynamique est obtenu par le biais d'ouvrages de régulation pilotés par un agent humain ou par un automate. Généralement, l'ensemble des expériences menées dans le domaine de la gestion dynamique des réseaux d'assainissement repose sur l'usage de logiciels de simulation hydrauliques sur lesquels viennent se greffer des commandes d'automates. À cause des temps de calcul trop importants, il est quasiment impossible de réaliser des calculs visant à la minimisation des rejets non traités au milieu naturel. L'idée force du travail commandé est de changer de paradigme concernant cette dernière. Le changement de paradigme envisagé est donc de prendre la problématique abordée par la face « automatisme » plutôt que par celle « hydrologie ». Il sera alors possible d'effectuer un grand nombre de calculs en des temps assez courts permettant le test d'un grand nombre de solutions. L'objectif de cet article est, dans un premier lieu, de valider la modélisation du point de vue de l'automaticien d'un réseau d'assainissement. En effet, nous allons essayer de modéliser un réseau d'assainissement test sous Matlab. Nous avons choisi de travailler avec Matlab et plus précisément l'outil Simulink vue son importance dans le domaine automatique pour les systèmes continus. Le principe de validation du modèle Matlab se base essentiellement sur la comparaison des résultats obtenus par Matlab par rapport à ceux trouvés par l'approche PipoSoft. L'approche PipoSoft est un outil de modélisation : une feuille de calcul sous Excel d'un réseau d'assainissement en temps discret qui est fréquemment utilisée par les hydrologues. Dans un deuxième temps, nous allons interpréter les résultats de la modélisation sous Matlab du réseau d'étude.

2. Réseau d'assainissement : Définition et éléments constructifs

Le réseau d'assainissement est un ensemble de conduites souterraines, ponctuées d'ouvrages. A l'exutoire de ceux-ci, est souvent installé des usines d'épuration. C'est un objet étendu et complexe dans lequel de nombreux acteurs interviennent. On peut agir, assister la régulation du réseau, soit par automatismes sur certains actionneurs (pompes, ouvrage de traitement, vannes, déversoirs d'orage mobiles...), soit en agissant à distance sur ces actionneurs [1]. Le réseau d'assainissement se dote de moyens techniques et organisationnels pour rendre cette tâche possible. Selon Bruno Ricard, le réseau d'assainissement peut être divisé en parties contrôlables et d'autres non contrôlables:

Parties non contrôlables : Les bassins versants produisent un débit et des concentrations en polluants « non contrôlables » en fonction de la pluie [1].

Parties contrôlables : Le réseau reçoit des volumes d'eau et des masses de solide provenant des bassins versants. Il les stocke et les achemine au milieu naturel soit directement par les déversoirs soit en passant par la station de traitement. Il s'agit donc de phénomènes contrôlables puisqu'un changement dans la configuration des déversoirs ou dans le régime de pompage peut modifier les sorties [1, 5, 7].

Dans ce qui suit, nous allons essayer de modéliser un réseau d'assainissement sous Matlab.

Nous commençons tout d'abord par la présentation du fonctionnement du réseau d'étude.

3. Description du réseau d'étude

Le réseau d'étude est un réseau fictif de type unitaire dans lequel nous avons installé cinq automates de type tout ou rien ou (0/1) : deux seuils de déversement, une pompe et deux limiteurs de débit. Le réseau d'étude est composé par cinq éléments : deux bassins versants et trois bassins de rétention/déversoirs d'orage. Le premier bassin de rétention dispose de deux exutoires : le premier (le plus bas) est un limiteur de débit qui rejette dans le troisième bassin de rétention. Le second est un seuil de déversement qui déverse vers un deuxième bassin de rétention. De même le deuxième bassin de rétention dispose de deux exutoires : le premier est un seuil de déversement qui déverse directement vers le milieu naturel. Le deuxième est une pompe qui rejette dans un troisième bassin de rétention. Le troisième bassin de rétention dispose également de deux exutoires : le premier est un seuil de déversement qui déverse directement vers le milieu naturel. Le second est un limiteur de débit qui renvoie l'eau dans la station d'épuration STEP. Le fonctionnement ainsi que le paramétrage du réseau d'étude pouvant être mieux expliqués par la figure suivante :

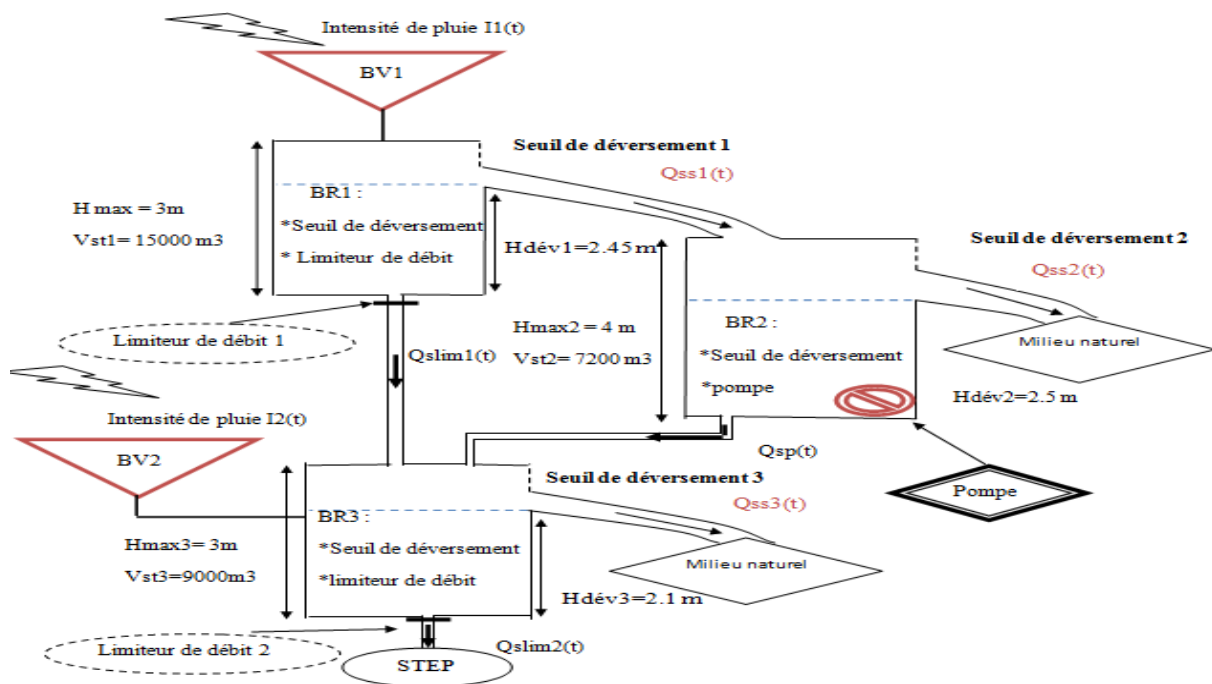


FIG. 1- Représentation graphique du réseau d'étude

Les entrées du système sont les intensités de pluie I1(t) et I2(t).

I1(t)= I2(t) : une pluie décennale de durée totale égale à 200 mn et d'intensité maximale égale 31,07 mm/h.

4. Modélisation du réseau test sous Matlab

Dans cette partie, nous allons essayer de modéliser le réseau d'étude. Pour ce faire, nous commençons par la modélisation des bassins versants et les bassins de rétention. Nous passerons ensuite à la modélisation de tout le réseau test.

4.1. Formalisation du problème

La modélisation de la plupart des phénomènes hydrologiques d'un réseau d'assainissement reposent essentiellement sur les modèles à réservoir. Les modèles à réservoirs reposent sur l'équation de continuité : $\frac{dVs(t)}{dt} = Qe(t) - Qs(t)$ et sur une loi de stockage : $Vs(t) = f(Qe(t), Qs(t), t)$.

Avec : Vs : le volume stocké, t : le temps, Qe : le débit entrant et Qs : le débit sortant [1, 3, 4].

4.2. Modélisation des bassins versants

• Modèle mathématique

Un bassin versant est considéré comme un réservoir recevant un débit de pluie nette $Q_e(t)$. Pour modéliser la transformation pluie-débit nous utiliserons la formulation du réservoir linéaire suivante : $\frac{dVs(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t)$ et la loi du stockage $Vs(t) = K1 \times Q_s(t)$. Avec : $Q_e(t) = C \times A \times i(t)$, C : le coefficient de ruissellement, A : la surface du bassin versant, $i(t)$: l'intensité pluvieuse, $K1$: le lag-time du bassin versant, Q_s : le débit à l'exutoire d'un bassin versant. L'équation différentielle qui traduit le fonctionnement du bassin est donc : $\frac{dQ_s(t)}{dt} = \frac{1}{K1} (C \times A \times i(t) - Q_s(t))$ [1, 3].

• Modèle matlab

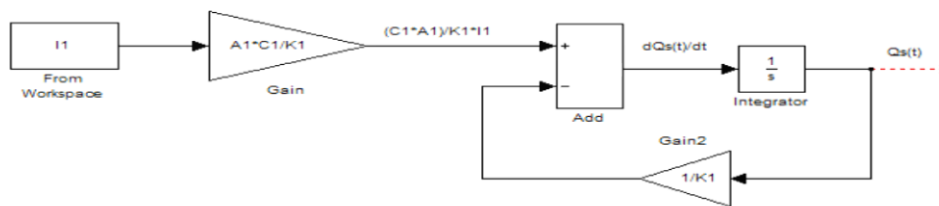


FIG. 2 - Modélisation d'un bassin versant sous Matlab

4.3. Modélisation des ouvrages spécifiques

Parmi les ouvrages spéciaux, nous nous intéressons plus particulièrement aux bassins de rétention/déversoir d'orage. La modélisation des ouvrages spéciaux s'appuie naturellement sur les modèles à réservoir. La principale différence vient que le débit sortant du réservoir est contrôlé. Ce contrôle peut être réalisé en limitant le débit de sortie ou il peut être fonction d'une variable d'état du système comme par exemple la mesure de la hauteur d'eau dans le bassin de rétention [1, 3]. Le réseau d'étude est constitué par trois bassins de rétention : un bassin de rétention avec seuil et pompe et deux bassins de rétention avec seuil et limiteur de débit.

Nous commençons par la modélisation d'un bassin de rétention avec seuil et pompe.

4.3.1. Bassin de rétention avec seuil de déversement et pompe

• Modèle mathématique

Le modèle du bassin de rétention avec pompe et seuil de déversement repose sur l'équation du réservoir linéaire, le principe de fonctionnement de la pompe et sur le principe de fonctionnement d'un seuil.

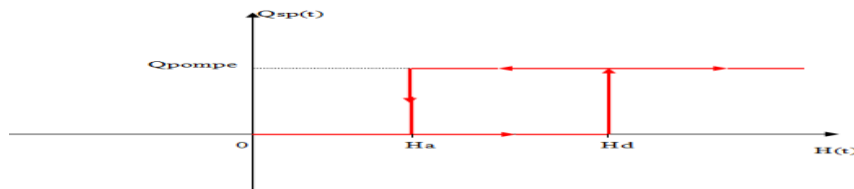
Principe de fonctionnement de la pompe

La pompe peut être soit en arrêt soit en marche.

Si état= arrêt et si $H(t) > H_d$ alors état=marche et $Q_{sp}(t)=Q_{pompe}$

Si état = marche et si $H(t) < H_a$ alors état=arrêt et $Q_{sp}(t)=0$ [3].

Le principe de fonctionnement de la pompe (de type hystérésis) peut être mieux expliqué par la figure suivante :

FIG. 3 - Variation du débit pompe $Q_{sp}(t)$ en fonction de la hauteur $H(t)$

Principe de fonctionnement du seuil de déversement

Si $H(t) > H_{dév}$ $Q_{ss}(t) = m_s \times \sqrt{2 \times g \times L} \times (H(t) - H_{dév})^{\frac{3}{2}}$

Sinon $Q_{ss}(t) = 0$ [3, 5, 7].

$$Q_s(t) = Q_{sp}(t) + Q_{ss}(t)$$

Avec A : la surface du bassin de rétention, m_s : coefficient de crête du seuil, g : accélération de pesanteur, L : la longueur du seuil, $H(t)$: hauteur d'eau, $H_{dév}$: la hauteur du seuil de déversement, $Q_{ss}(t)$: débit au seuil, $Q_{sp}(t)$: débit pompe, $Q_s(t)$: le débit à l'exutoire du bassin de rétention, $Q_e(t)$: débit d'entrée.

Modèle Matlab

Nous modélisons un bassin de rétention avec seuil et pompe, nous obtenons :

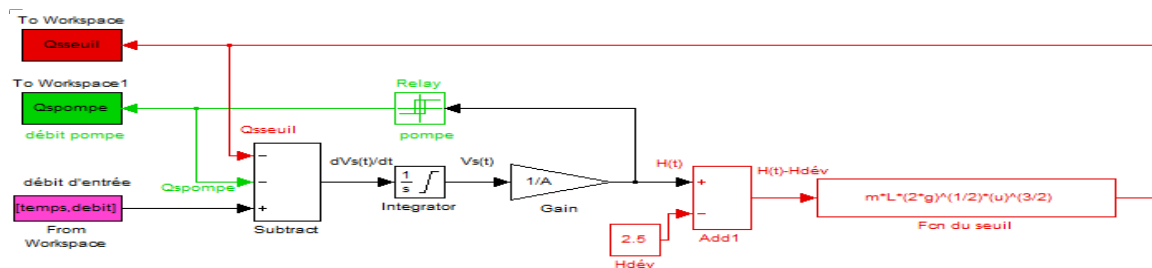


FIG. 4 : Modélisation d'un bassin de rétention avec pompe et seuil de déversement sous matlab

4.3.2. Bassin de rétention avec seuil de déversement et limiteur de débit

Modèle mathématique

Le modèle du bassin de rétention avec seuil de déversement et limiteur repose sur l'équation du réservoir linéaire, sur le principe de fonctionnement du seuil et sur le principe de fonctionnement du limiteur de débit.

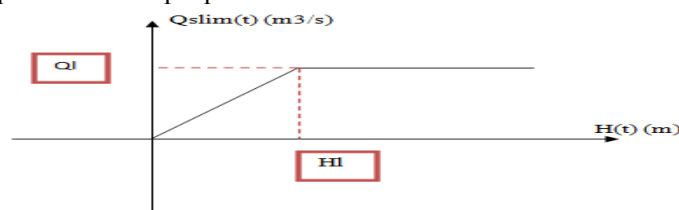
Principe de fonctionnement du limiteur

Le limiteur a pour fonction, comme son nom l'indique, de limiter le débit sortant à l'exutoire d'un bassin de rétention. Il laisse passer un débit inférieur ou égal à une certaine limite Q_l : débit limite.

Si $H(t) < H_l$: On suppose dans ce cas que le débit au limiteur $Q_{slim}(t)$ est une fonction linéaire de la hauteur $H(t)$: $Q_{slim}(t) = a \times H(t)$ Avec $a = \frac{Q_l}{H_l}$

Si $H(t) \geq H_l$ $Q_{slim}(t) = Q_l$

La figure suivante peut mieux expliquer le fonctionnement d'un limiteur de débit :

FIG. 5 - Variation du débit au limiteur $Q_{slim}(t)$ en fonction de la hauteur $H(t)$

- Modèle Matlab

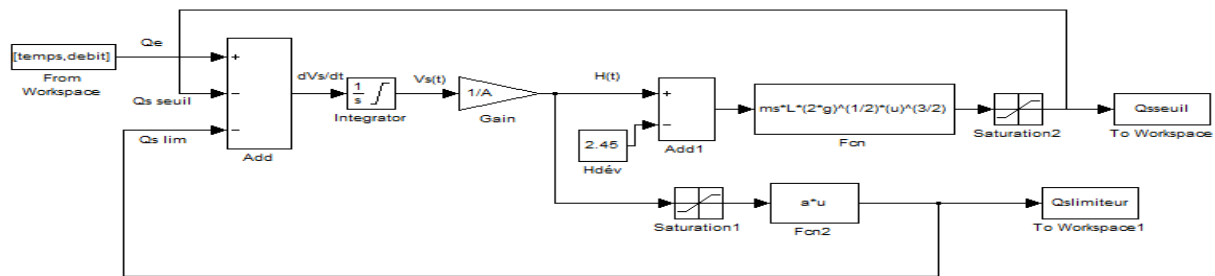


FIG. 6 - Modélisation d'un bassin de rétention avec seuil de déversement et limiteur de débit sous matlab

Ainsi, nous modélisons tout le réseau d'étude sous Matlab et nous obtenons :

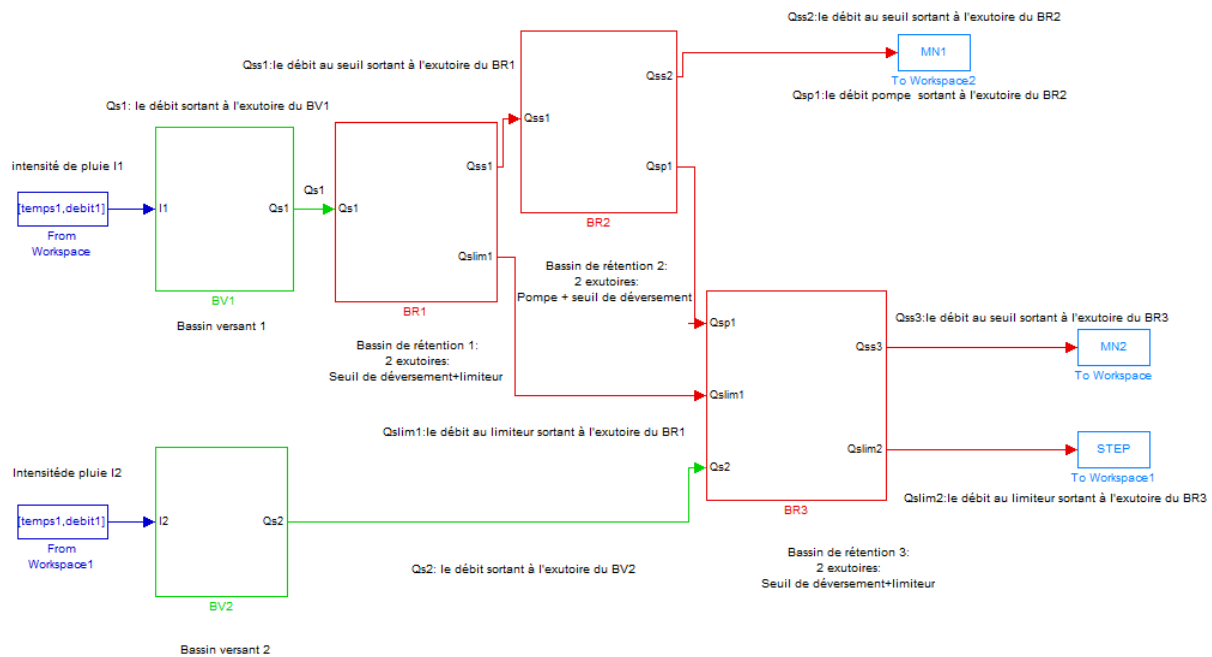


FIG. 7 - Modélisation du réseau d'étude sous matlab

5. Validation du modèle

Dans cette partie nous allons essayer de valider la modélisation matlab du réseau d'étude. Le principe de validation se base essentiellement sur la comparaison des résultats de la modélisation Matlab par rapport à ceux trouvés par l'approche PipoSoft. Pour permettre de juger la qualité des résultats obtenus par Matlab, nous présentons dans le tableau suivant les débits de pointe calculés par les deux approches Matlab et PipoSoft.

Qss2 PipoSoft (max) (l/s) (ce qui est rejeté dans le milieu naturel 1)	4899,52	Ecart (%)	7,83
Qss2 Matlab (max) (l/s)	4543,72		
Qss3 PipoSoft (max) (l/s)(ce qui est rejeté dans le milieu naturel 2)	2759,07	Ecart (%)	3,92
Qss3 Matlab (max) (l/s)	2654,78		
Qslim2 PipoSoft (max) (l/s) (ce qui est rejeté dans la STEP)	300	Ecart (%)	0
Qslim 2 Matlab max (l/s)	300		

TAB. 1 : Tableau des résultats des débits de pointe sortants.

N.B : Nous ne parlons pas de % d'erreur par rapport au modèle PipoSoft, mais plutôt de % d'écart par rapport à l'approche pipoSoft car le modèle PipoSoft ne détient pas plus la réalité que le modèle Matlab.

Afin de permettre une illustration graphique des performances du modèle matlab nous présentons sur les figures huit, neuf et dix les résultats de comparaison des hydrogrammes ($Q=f(t)$) donnés par les deux approches : matlab et pipoSoft.

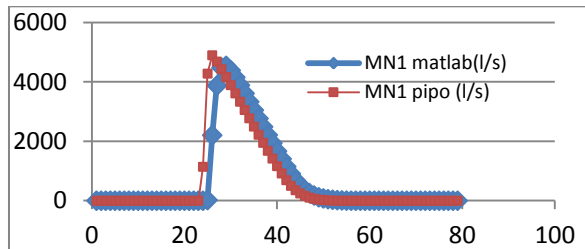


FIG. 8 - Variation du $Q_{ss2}(t)$ en fonction du temps

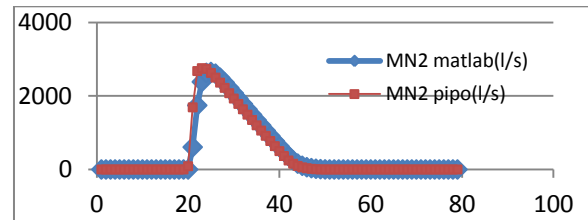


FIG. 9 - Variation de $Q_{ss3}(t)$ en fonction du temps

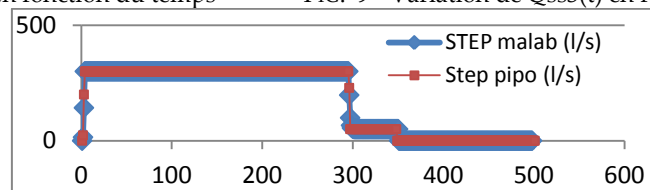


FIG. 10 - Variation de $Q_{slim 2}$ rejeté dans la STEP en fonction du temps (pipoSoft et matlab)

Pour mieux étudier les performances du modèle sous matlab, nous calculons le coefficient de corrélation entre les valeurs trouvées par matlab et celles par pipoSoft. Nous trouvons un coefficient de corrélation égal à 0.999 pour les différents débits donc très proche de 1. Nous pouvons remarquer que les débits donnés par matlab et pipoSoft sont fortement corrélés.

Si l'on compare les résultats obtenus par matlab par rapport à ceux obtenus par l'approche pipoSoft nous pouvons remarquer que :

- ⇒ Le comportement global du système est le même pour les deux approches.
- ⇒ Un écart de 7.8% sur le débit au seuil maximal sortant du deuxième bassin de rétention, un écart de 3.9% sur le débit au seuil maximal sortant du troisième bassin de rétention.
- ⇒ Ainsi, nous pouvons valider le modèle sous matlab du réseau d'assainissement.

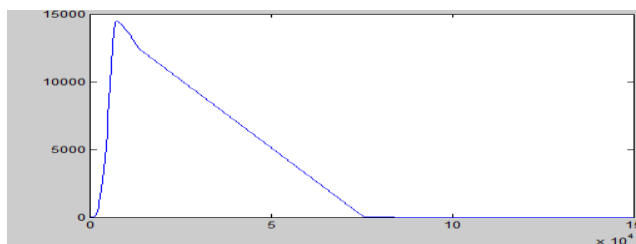
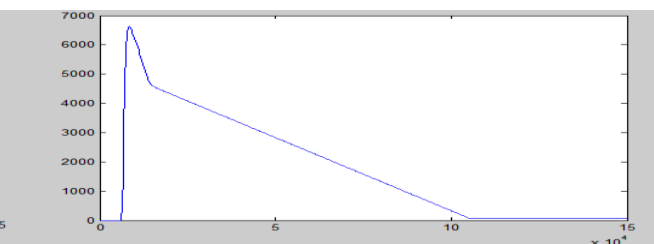
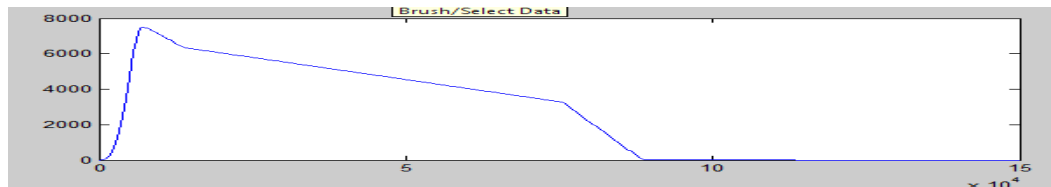
6. Résultats de la modélisation sous Matlab

Après avoir validé le modèle Matlab du réseau test, nous exposons dans cette partie les différents résultats obtenus par la modélisation sous Matlab du réseau d'étude. Pour commencer la partie présentant les résultats obtenus par Matlab, il est intéressant de rappeler les volumes de stockage maximaux de chaque bassin de rétention.

Vst max1 (m3)	15000
Vst max2 (m3)	7200
Vst max3 (m3)	9000

Tab. 2 - Tableau du volume de stockage maximal de chaque bassin de rétention.

Nous présentons dans les figures 11, 12 et 13 la variation des volumes de stockage en fonction du temps de chaque bassin de rétention.

FIG. 11 - Variation de $Vs1(t)$ en fonction du temps du BR1FIG. 12 - Variation de $Vs2(t)$ en fonction du temps du BR2FIG. 13 - Variation de $Vs3(t)$ en fonction du temps du BR3

Nous observons que :

- Le volume de pointe atteint par le premier bassin est égal à 14481 m³ (< 15000m³).
- Le volume de pointe atteint par le deuxième bassin est égal à 6626 m³ (< 7200 m³).
- Le volume de pointe atteint par le troisième bassin est égal à 7491 m³ (< 9000 m³).

Nous pouvons remarquer que les trois bassins de rétention ne sont pas exploités au maximum de leurs capacités de stockage. Il paraît donc intéressant de trouver le meilleur scénario permettant l'utilisation de ces différentes capacités de stockage à leur maximum mais toujours sans les dépasser.

7. Conclusion

L'ensemble des expériences menées dans le domaine de la gestion dynamique des réseaux d'assainissement repose sur l'usage de logiciels de simulation hydraulique sur lesquels viennent se greffer des commandes d'automates. À cause des temps de calcul trop importants, il est quasiment impossible, de réaliser des calculs visant à l'optimisation de l'usage des capacités de rétention et donc de la minimisation des rejets non traités au milieu naturel. Nous proposons ainsi un changement de paradigme : prendre la problématique abordée par la face « automatisme » plutôt que par celle « hydrologie ». Nous proposons un modèle de simulation continu d'un réseau d'assainissement qui nous permettra par la suite de proposer des algorithmes de commande issus de l'automatique.

Bibliographie

1. Bruno RICARD . *Comment éviter de polluer et d'inonder à tort ? Apports de l'expérimentation numérique et intégration dans un processus d'apprentissage sur un réseau d'assainissement réel*. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon INSA, 1994.
2. BLANPAIN, Olivier. *Cours conception et modélisation d'un réseau d'assainissement*, 2011/2012.
3. CARLIER Michel. *Hydrauliques générales et appliquée*, EDITION EYROLLES 61, Bd Saint-Germain Paris 5^e 1972. ISSN 0399-4198, Septembre 1998.
4. CARLIER Michel. *Hydrauliques générales et appliquée*, EDITION EYROLLES 61, Bd Saint-Germain Paris 5^e 1972. 1998. ISSN 0399-4198.
5. Chocat, B les différents types de déversoirs d'orage, analyse et modélisation de leur fonctionnement, 17 novembre 1994, Lyon, 25 p.
6. J. Vaszquez ; M. François; D. Gilbert. Gestion en temps réel d'un réseau d'assainissement : Vérification de l'optimalité et de l'applicabilité de la théorie des graphes par rapport à la programmation linéaire mixte. *Revue des sciences de l'eau*. Sep 2003, Vol. 17, no 5, p 425-442.
7. Khorchani, Mohamed. *Apports de l'imagerie numérique et de l'approche connexionniste à l'analyse de fonctionnement, la modélisation et la gestion des déversoirs d'orage*. Thèse de doctorat. Génie civil. 2003.